

1807.1647



AO

2631

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: )  
CLAUDE LE DANTEC ) Examiner: Not Yet Assigned  
Application No.: 09/826,148 ) Group Art Unit: 2631  
Filed: April 5, 2001 )  
For: ENCODING AND DECODING )  
METHODS AND DEVICES AND )  
SYSTEMS USING THEM ) November 7, 2001

RECEIVED  
NOV 13 2001  
Technology Center 2600

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

CLAIM TO PRIORITY

Sir:

Applicant hereby claims priority under the International Convention and all rights to which he is entitled under 35 U.S.C. § 119 based upon the following French

Priority Application:

0004988, filed April 18, 2000.

A certified copy of the priority document is enclosed.

Applicant's undersigned attorney may be reached in our New York office by telephone at (212) 218-2100. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,

Paul P. Diana  
Attorney for Applicant

Registration No. 28,896

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO  
30 Rockefeller Plaza  
New York, New York 10112-3801  
Facsimile: (212) 218-2200



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



RECEIVED

NOV 13 2001

Technology Center 2600

# BREVET D'INVENTION

**CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION****COPIE OFFICIELLE**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **26 MARS 2001**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30  
<http://www.inpi.fr>

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>18 AVRIL 2000</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0004988</b> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>18 AVR. 2000</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE RINUY, SANTARELLI 14, avenue de la Grande Armée 75017 PARIS	
<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif) <b>BIF022385/FR/EP</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N°	Date / /
		N°	Date / /
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/>	Date / /
		N°	Date / /
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> Procédés et dispositifs de codage et de décodage et systèmes les mettant en oeuvre"			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° Pays ou organisation Date / / N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		CANON KABUSHIKI KAISHA	
Prénoms			
Forme juridique		Société de droit Japonais	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	30-2, Shimomaruko 3-chome, Ohta-ku, Tokyo, JAPON.	
	Code postal et ville		
Pays		JAPON	
Nationalité		JAPONAISE	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE <b>18 AVRIL 2000</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0004988</b>		Réservé à l'INPI		DB 540 W / 260899	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>			BIF022385/FR/EP		
<b>6 MANDATAIRE</b>					
Nom					
Prénom					
Cabinet ou Société			RINUY, SANTARELLI		
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel					
Adresse	Rue	14 AVENUE DE LA GRANDE ARMÉE			
	Code postal et ville	750017	PARIS		
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 40 55 43 43			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>					
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>					
<b>7 INVENTEUR (S)</b>					
Les inventeurs sont les demandeurs			<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée		
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>			Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé			<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Paiement échelonné de la redevance			Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>			Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):</i>		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes					
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)				<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>	
 Georges PERIN N°92.1191 RINUY, SANTARELLI				B. PIQUET	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.  
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		BIF022385/FR/EP	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		020 49 88	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
Procédés et dispositifs de codage et de décodage et systèmes les mettant en oeuvre"			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
CANON KABUSHIKI KAISHA			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		LE DANTEC	
Prénoms		Claude	
Adresse	Rue	La Basse Beauce,,	
	Code postal et ville	35140	SAINT HILAIRE DES LANDES, FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		Le 17 avril 2000 Georges PERIN N°92.1191 RINUY, SANTARELLI	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



5

10 La présente invention se rapporte à des procédés et des dispositifs de codage et de décodage et à des systèmes les mettant en œuvre.

Classiquement, un turbocodeur est constitué de trois parties essentielles : deux codeurs convolutifs récurrents systématiques élémentaires et un entrelaceur.

15 Le décodeur associé est constitué des deux décodeurs élémentaires à entrées et sorties dites douces correspondant aux codeurs convolutifs, d'un entrelaceur et de son entrelaceur inverse (appelé aussi "désentrelaceur").

On trouvera une description des turbocodes dans l'article "*Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbo codes*"  
20 correspondant à la présentation faite par C. BERROU, A. GLAVIEUX et P. THITIMAJSHIMA lors de la conférence ICC à Genève en mai 1993.

Les codeurs étant récurrents systématiques, un problème qu'on retrouve souvent est celui de la mise à zéro des codeurs élémentaires.

On trouve dans l'art antérieur diverses façons de traiter ce problème,  
25 notamment :

1. Absence de retour à zéro : on initialise les codeurs à l'état nul et on les laisse évoluer vers un état quelconque sans intervenir.

2. Remise à zéro du premier codeur : on initialise les codeurs à l'état nul et on ajoute des bits de padding pour imposer un état final nul  
30 uniquement au premier codeur.

3. "Turbo codes convolutifs orientés trame" (FOCTC, en anglais "*Frame Oriented Convolutional Turbo Codes*") : on initialise le premier codeur et

on prend comme état initial du second codeur l'état final du premier codeur. Lorsqu'on utilise une classe d'entrelaceurs ayant certaines propriétés, l'état final du second codeur est nul. On se reportera utilement à ce sujet à l'article de C. BERROU et M. JEZEQUEL intitulé "*Frame oriented convolutional turbo-codes*",  
 5 in Electronics Letters, Vol. 32, n° 15, 18 juillet 1996, pages 1362 à 1364, Stevenage, Herts, Grande Bretagne.

4. Remises à zéro indépendantes des deux codeurs : on initialise les codeurs à l'état nul et on ajoute de façon indépendante des bits de padding à chacune des séquences entrant dans les codeurs. Une description générale  
 10 de remises à zéro indépendantes des codeurs est donnée dans le rapport de D. DIVSALAR et F. POLLARA intitulé "*TDA progress report 42-123 On the design of turbo codes*", publié en novembre 1995 par JPL (Jet Propulsion Laboratory).

5. Remises à zéro intrinsèques des deux codeurs : on initialise les codeurs à l'état nul et on ajoute des bits de padding à la séquence qui entre  
 15 dans le premier codeur. Lorsqu'on utilise un entrelaceur garantissant le retour à zéro tel qu'exposé dans le document de brevet FR-A-2 773 287 et qu'on entrelace la séquence comprenant les bits de padding, le second codeur a automatiquement un état final nul.

6. Utilisation de codeurs circulaires (en anglais "*circular codes*" ou  
 20 "*tail-biting codes*"). On trouvera une description de codes convolutifs concaténés circulaires dans l'article de C. BERROU, C. DOUILLARD et M. JEZEQUEL intitulé "*Multiple parallel concatenation of circular recursive systematic codes*", publié dans la revue "Annales des Télécommunications", tome 54, n°s 3-4, pages 166 à 172, 1999. Dans les codeurs circulaires, on  
 25 choisit un état initial du codeur tel que l'état final soit le même.

Pour chacune des solutions de l'art antérieur mentionnées ci-dessus, il existe une terminaison de treillis adaptée pour chaque décodeur correspondant. Ces décodeurs prennent en compte la terminaison ou non des treillis, ainsi que, le cas échéant, le fait que chacun des deux codeurs utilise les  
 30 mêmes bits de padding.

Le turbodécodage est une opération itérative bien connue de l'homme du métier. Pour plus de détails, on pourra se reporter :

- au rapport de S. BENEDETTO, G. MONTORSI, D. DIVSALAR et F. POLLARA intitulé "*Soft Output decoding algorithms in Iterative decoding of turbo codes*" publié par JPL dans TDA Progress Report 42-124, en février 96 ;

- à l'article de L.R BAHL, J. COCKE, F. JELINEK et J. RAVIV intitulé  
5 "*Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate*", publié dans IEEE Transactions on Information Theory, pages 284 à 287 en mars 1974.

Les solutions 1 et 2 offrent généralement de moins bonnes performances que les solutions 3 à 6.

10 Cependant, les solutions 3 et 4 présentent également des inconvénients.

La solution 3 limite le choix des entrelaceurs, ce qui risque de réduire les performances ou de compliquer inutilement la réalisation de l'entrelaceur.

Lorsque la taille de l'entrelaceur est petite, la solution 4 a de moins bonnes performances que les solutions 5 et 6.

15 Les solutions 5 et 6 semblent donc les plus appropriées.

Cependant, la solution 5 présente l'inconvénient de nécessiter des bits de padding, ce qui n'est pas le cas de la solution 6.

La solution 6 semble donc intéressante. Néanmoins, cette solution présente l'inconvénient de nécessiter un précodage (en anglais "*pre-encoding*"),  
20 tel que spécifié dans le document intitulé "*Multiple parallel concatenation of circular recursive systematic codes*" cité précédemment. La durée de précodage est une contrainte non négligeable. Ce temps est le facteur principal de la latence du codeur, c'est-à-dire le délai entre l'entrée dans le codeur d'un premier bit et la sortie d'un premier bit codé. Ceci est particulièrement gênant  
25 pour certaines applications sensibles aux délais de transmission.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précités.

Elle permet notamment d'obtenir de bonnes performances tout en ne nécessitant pas de bits de padding et en limitant la latence de précodage.

30 Dans ce but, la présente invention propose un procédé de codage d'une séquence source de symboles en une séquence codée, remarquable en ce qu'il comporte des étapes suivant lesquelles :

- on effectue une première opération de division en sous-séquences et codage, consistant à diviser la séquence source en  $p_1$  premières sous-séquences,  $p_1$  étant un entier positif, et à coder chacune des premières sous-séquences à l'aide d'un premier procédé de codage convolutif circulaire ;

5                   - on effectue une opération d'entrelacement, consistant à entrelacer la séquence source en une séquence entrelacée ; et

                  - on effectue une seconde opération de division en sous-séquences et codage, consistant à diviser la séquence entrelacée en  $p_2$  secondes sous-séquences,  $p_2$  étant un entier positif, et à coder chacune des secondes sous-séquences à l'aide d'un second procédé de codage convolutif circulaire ;

10               l'un au moins des entiers  $p_1$  et  $p_2$  étant strictement supérieur à 1 et l'une au moins des premières sous-séquences n'étant entrelacée en aucune des secondes sous-séquences.

                  Un tel procédé de codage est particulièrement bien adapté à des  
15   turbocodes offrant de bonnes performances, ne nécessitant pas de bits d'ajout et entraînant une latence de codage relativement faible.

De plus, il est particulièrement simple à mettre en œuvre.

Selon une caractéristique particulière, le premier ou second procédé de codage convolutif circulaire comporte :

20               - une étape de précodage, consistant à définir l'état initial du procédé de codage pour la sous-séquence considérée, de façon à produire une sous-séquence précodée, et

                  - une étape de codage convolutif circulaire.

25               Cette caractéristique a pour avantage sa simplicité de mise en œuvre.

                  Selon une caractéristique particulière, on effectue simultanément l'étape de précodage pour une des premières sous-séquences et l'étape de codage convolutif circulaire pour une autre des premières sous-séquences déjà précodée.

30               Cette caractéristique permet de diminuer de façon importante la latence de codage.

                  Selon une caractéristique particulière, les entiers  $p_1$  et  $p_2$  sont égaux.

Cette caractéristique confère une symétrie au procédé tout en étant simple à mettre en œuvre.

Selon une caractéristique particulière, la taille de toutes les sous-séquences est identique.

5 Cette caractéristique a pour avantage sa simplicité de mise en œuvre.

Selon une caractéristique particulière, les premier et second procédés de codage convolutif circulaire sont identiques, ce qui permet de simplifier la réalisation.

10 Selon une caractéristique particulière, le procédé de codage comporte en outre des étapes suivant lesquelles :

- on effectue une opération d'entrelacement supplémentaire, consistant à entrelacer la séquence de parité issue de la première opération de division en sous-séquences et codage ; et

15 - on effectue une troisième opération de division en sous-séquences et codage, consistant à diviser la séquence entrelacée, obtenue à l'issue de l'opération d'entrelacement supplémentaire, en  $p_3$  troisièmes sous-séquences,  $p_3$  étant un entier positif, et à coder chacune des troisièmes sous-séquences à l'aide d'un troisième procédé de codage convolutif circulaire.

20 Cette caractéristique présente les avantages généraux des turbocodes séries ou hybrides ; on obtient notamment de bonnes performances, en particulier à faible rapport signal sur bruit.

Dans le même but que celui mentionné plus haut, la présente invention propose également un dispositif de codage d'une séquence source de symboles en une séquence codée, remarquable en ce qu'il comporte :

25

- un premier module de division en sous-séquences et codage, pour diviser la séquence source en  $p_1$  premières sous-séquences,  $p_1$  étant un entier positif, et pour coder chacune des premières sous-séquences à l'aide d'un premier module de codage convolutif circulaire ;

30 - un module d'entrelacement, pour entrelacer la séquence source en une séquence entrelacée ; et

- un second module de division en sous-séquences et codage, pour diviser la séquence entrelacée en  $p_2$  secondes sous-séquences,  $p_2$  étant un entier positif, et pour coder chacune des secondes sous-séquences à l'aide d'un second module de codage convolutif circulaire ;

- 5 l'un au moins des entiers  $p_1$  et  $p_2$  étant strictement supérieur à 1 et l'une au moins des premières sous-séquences n'étant entrelacée en aucune des secondes sous-séquences.

10 Les caractéristiques particulières et avantages du dispositif de codage étant similaires à ceux du procédé de codage, ils ne sont pas rappelés ici.

Toujours dans le même but, la présente invention propose en outre un procédé de décodage d'une séquence de symboles reçus, remarquable en ce qu'il est adapté à décoder une séquence codée par un procédé de codage tel que ci-dessus.

- 15 Dans un mode particulier de réalisation, le procédé de décodage utilisant un turbodécodage, on effectue itérativement :

20 - une première opération de division en sous-séquences, s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence source et d'une première séquence de parité, ainsi que sur l'information a priori de la séquence source ;

25 - pour chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, une première opération de décodage élémentaire, adaptée à décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence source ;

- une opération d'entrelacement de la séquence formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par la première opération de décodage élémentaire ;

30 - une deuxième opération de division en sous-séquences, s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence entrelacée et d'une deuxième séquence de parité, ainsi que sur l'information a priori de la séquence entrelacée ;

- pour chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, une deuxième opération de décodage élémentaire, adaptée à décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence entrelacée ;

- une opération de désentrelacement de la séquence formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par la deuxième opération de décodage élémentaire.

Toujours dans le même but, la présente invention propose également un dispositif de décodage d'une séquence de symboles reçus, remarquable en ce qu'il est adapté à décoder une séquence codée au moyen d'un dispositif de codage tel que ci-dessus.

Les caractéristiques particulières et avantages du dispositif de décodage étant similaires à ceux du procédé de décodage, ils ne sont pas rappelés ici.

La présente invention vise aussi un appareil de traitement de signaux numériques, comportant des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage et/ou un procédé de décodage tels que ci-dessus.

La présente invention vise aussi un appareil de traitement de signaux numériques, comportant un dispositif de codage et/ou un dispositif de décodage tels que ci-dessus.

La présente invention vise aussi un réseau de télécommunications, comportant des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage et/ou un procédé de décodage tels que ci-dessus.

La présente invention vise aussi un réseau de télécommunications, comportant un dispositif de codage et/ou un dispositif de décodage tels que ci-dessus.

La présente invention vise aussi une station mobile dans un réseau de télécommunications, comportant des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage et/ou un procédé de décodage tels que ci-dessus.

La présente invention vise aussi une station mobile dans un réseau de télécommunications, comportant un dispositif de codage et/ou un dispositif de décodage tels que ci-dessus.

5 La présente invention vise aussi un dispositif de traitement de signaux représentatifs de parole, comportant un dispositif de codage et/ou un dispositif de décodage tels que ci-dessus.

10 La présente invention vise aussi un dispositif de transmission de données comportant un émetteur adapté à mettre en œuvre un protocole de transmission par paquets, comportant un dispositif de codage et/ou un dispositif de décodage et/ou un dispositif de traitement de signaux représentatifs de parole tels que ci-dessus.

Selon une caractéristique particulière du dispositif de transmission de données, le protocole de transmission par paquets est de type ATM (mode de transfert asynchrone, en anglais "*Asynchronous Transfer Mode*").

15 En variante, le protocole de transmission par paquets est de type IP (protocole de transmission utilisé sur Internet, en anglais "*Internet Protocol*").

L'invention vise aussi :

20 - un moyen de stockage d'informations lisible par un ordinateur ou un microprocesseur conservant des instructions d'un programme informatique, permettant la mise en œuvre d'un procédé de codage et/ou d'un procédé de décodage tels que ci-dessus, et

25 - un moyen de stockage d'informations amovible, partiellement ou totalement, lisible par un ordinateur ou un microprocesseur conservant des instructions d'un programme informatique, permettant la mise en œuvre d'un procédé de codage et/ou d'un procédé de décodage tels que ci-dessus.

L'invention vise aussi un programme d'ordinateur comportant des séquences d'instructions pour mettre en œuvre un procédé de codage et/ou un procédé de décodage tels que ci-dessus.

30 Les caractéristiques particulières et les avantages des différents appareils de traitement de signaux numériques, des différents réseaux de télécommunications, des différentes stations mobiles, du dispositif de traitement de signaux représentatifs de parole, du dispositif de transmission de données,



des moyens de stockage d'informations et du programme d'ordinateur étant similaires à ceux du procédé d'entrelacement selon l'invention, ils ne sont pas rappelés ici.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- 5 - la figure 1 représente schématiquement un dispositif électronique comportant un dispositif de codage conforme à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- 10 - la figure 2 représente schématiquement, sous forme de schéma bloc, un dispositif de codage correspondant à un turbocode convolutif parallèle, conforme à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- 15 - la figure 3 représente schématiquement un dispositif électronique comportant un dispositif de décodage conforme à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- 20 - la figure 4 représente schématiquement, sous forme de schéma bloc, un dispositif de décodage correspondant à un turbocode convolutif parallèle, conforme à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- la figure 5 est un organigramme représentant schématiquement le fonctionnement d'un dispositif de codage tel que celui inclus dans le dispositif électronique de la figure 1, dans un mode particulier de réalisation ;
- 25 - la figure 6 est un organigramme représentant schématiquement des opérations de décodage et de correction d'erreur mises en œuvre par un dispositif de décodage tel que celui inclus dans le dispositif électronique de la figure 3, conformément à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;
- 30 - la figure 7 est un organigramme représentant schématiquement l'opération de turbodécodage proprement dite incluse dans le procédé de décodage conforme à la présente invention.

La **figure 1** illustre schématiquement la constitution d'une station de réseau ou station de codage informatique, sous forme de schéma synoptique.

Cette station comporte un clavier 111, un écran 109, une source d'information externe 110, un émetteur hertzien 106, conjointement reliés à un port d'entrées/sorties 103 d'une carte de traitement 101.

La carte de traitement 101 comporte, reliés entre eux par un bus d'adresses et de données 102 :

- une unité centrale de traitement 100 ;
- une mémoire vive RAM 104 ;
- une mémoire morte ROM 105 ; et
- le port d'entrées/sorties 103.

Chacun des éléments illustrés en figure 1 est bien connu de l'homme du métier des micro-ordinateurs et des systèmes de transmission et, plus généralement, des systèmes de traitement de l'information. Ces éléments communs ne sont donc pas décrits ici. On observe, cependant, que :

- la source d'information 110 est, par exemple, un périphérique d'interface, un capteur, un démodulateur, une mémoire externe ou un autre système de traitement d'information (non représenté), et est de préférence adaptée à fournir des séquences de signaux représentatifs de parole, de messages de service ou de données multimédia, sous forme de séquences de données binaires, et que

- l'émetteur hertzien 106 est adapté à mettre en œuvre un protocole de transmission par paquets sur un canal non filaire, et à transmettre ces paquets sur un tel canal.

On observe en outre que le mot "registre" utilisé dans la description désigne, dans chacune des mémoires 104 et 105, aussi bien une zone mémoire de faible capacité (quelques données binaires) qu'une zone mémoire de grande capacité (permettant de stocker un programme entier).

La mémoire vive 104 conserve des données, des variables et des résultats intermédiaires de traitement, dans des registres de mémoire portant, dans la description, les mêmes noms que les données dont ils conservent les valeurs. La mémoire vive 104 comporte notamment :

- un registre "*données\_source*", dans lequel sont conservées, dans l'ordre de leur arrivée sur le bus 102, les données binaires en provenance de la source d'information 110, sous forme d'une séquence  $\underline{u}$ ,

5 - un registre "*données\_permutées*", dans lequel sont conservées, dans l'ordre de leur arrivée sur le bus 102, les données binaires permutées, sous forme d'une séquence  $\underline{u}^*$ ,

- un registre "*données\_à\_émettre*", dans lequel sont conservées les séquences à transmettre,

10 - un registre "*n*", dans lequel est conservée la valeur  $n$  de la taille de la séquence source, et

- un registre "*nb\_données*", qui conserve un nombre entier correspondant au nombre de données binaires dans le registre "*données\_source*".

15 La mémoire morte 105 est adaptée à conserver, dans des registres qui, par commodité, possèdent les mêmes noms que les données qu'ils conservent :

- le programme de fonctionnement de l'unité centrale de traitement 100, dans un registre "*program*",

20 - le tableau définissant l'entrelaceur, dans un registre "*entrelaceur*",

- la séquence  $\underline{g}_1$ , dans un registre "*g<sub>1</sub>*",

- la séquence  $\underline{g}_2$ , dans un registre "*g<sub>2</sub>*",

- la séquence  $\underline{h}_1$ , dans un registre "*h<sub>1</sub>*",

- la séquence  $\underline{h}_2$ , dans un registre "*h<sub>2</sub>*",

- la valeur de  $N_1$ , dans un registre "*N<sub>1</sub>*",

25 - la valeur de  $N_2$ , dans un registre "*N<sub>2</sub>*", et

- les paramètres des divisions en sous-séquences, dans un registre "*Paramètres\_division*", comprenant notamment le nombre des premières et secondes sous-séquences et la taille de chacune d'entre elles.

30 L'unité centrale de traitement 100 est adaptée à mettre en œuvre l'organigramme illustré en figure 5.

On observe, en **figure 2**, qu'un dispositif de codage correspondant à un turbocode convolutif parallèle conforme à la présente invention comporte notamment :

- une entrée de symboles à coder 201, où la source d'information 5 110 fournit une séquence de symboles binaires à transmettre, ou "à coder",  $\underline{u}$ ,
- un premier diviseur en sous-séquences 205, qui divise la séquence  $\underline{u}$  en  $p_1$  sous-séquences  $\underline{U}_1, \underline{U}_2, \dots, \underline{U}_{p_1}$ , la valeur de  $p_1$  et la taille de chaque sous-séquence étant conservées dans le registre "*Paramètres\_division*" de la mémoire morte 105,
- 10 - un premier codeur 202, qui fournit, à partir de chaque séquence  $\underline{U}_i$ , une séquence  $\underline{V}_i$  de symboles représentative de la séquence  $\underline{U}_i$ , l'ensemble des séquences  $\underline{V}_i$  constituant une séquence  $\underline{v}_1$ ,
- un entrelaceur 203, qui fournit, à partir de la séquence  $\underline{u}$ , une séquence entrelacée  $\underline{u}^*$ , dont les symboles sont les symboles de la séquence 15  $\underline{u}$ , mais dans un ordre différent,
- un second diviseur en sous-séquences 206 qui divise la séquence  $\underline{u}^*$  en  $p_2$  sous-séquences  $\underline{U}'_1, \underline{U}'_2, \dots, \underline{U}'_{p_2}$ , la valeur de  $p_2$  et la taille de chaque sous-séquence étant conservées dans le registre "*Paramètres\_division*" de la mémoire morte 105, et
- 20 - un second codeur 204, qui fournit, à partir de chaque séquence  $\underline{U}'_i$ , une séquence  $\underline{V}'_i$  de symboles représentative de la séquence  $\underline{U}'_i$ , l'ensemble des séquences  $\underline{V}'_i$  constituant une séquence  $\underline{v}_2$ .

Les trois séquences  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}_1$  et  $\underline{v}_2$  constituent une séquence codée qui est transmise pour être, ensuite, décodée.

25 Les premier et second codeurs sont adaptés :

- d'une part, à effectuer un précodage de chaque sous-séquence, c'est-à-dire à déterminer un état initial du codeur tel que son état final après codage de la sous-séquence considérée sera identique à cet état initial, et
- d'autre part, à effectuer le codage convolutif récursif de chaque 30 sous-séquence par multiplication par un polynôme multiplicatif ( $\underline{h}_1$  pour le premier codeur et  $\underline{h}_2$  pour le second codeur) et par division par un polynôme

diviseur ( $g_1$  pour le premier codeur et  $g_2$  pour le second codeur) en considérant l'état initial du codeur défini par le procédé de précodage.

On appelle période  $N_i$  du polynôme  $g_i(x)$ , le plus petit entier  $N_i$  tel que  $g_i(x)$  soit un diviseur du polynôme  $x^{N_i} + 1$ .

5           Chacune des sous-séquences obtenues par le premier (respectivement second) diviseur en sous-séquences aura une longueur qui ne sera pas multiple de  $N_1$ , période de  $g_1$  (respectivement  $N_2$ , période de  $g_2$ ) afin de rendre possible le codage de cette sous-séquence par un code récursif circulaire.

10           En outre, de préférence, cette longueur ne sera ni trop petite (au moins de l'ordre de cinq fois le degré des polynômes générateurs du premier (respectivement second) code convolutif) afin de conserver de bonnes performances du code, ni trop grande, pour limiter la latence.

15           Pour simplifier la réalisation, on pourra choisir des codeurs identiques ( $g_1$  étant alors égal à  $g_2$  et  $h_1$  étant égal à  $h_2$ ).

De même, les valeurs de  $p_1$  et  $p_2$  pourront être identiques.

Toujours à titre de simplification de la mise en œuvre de l'invention, toutes les sous-séquences pourront être de même taille (non multiple de  $N_1$  ou  $N_2$ ).

20           Dans le mode préféré de réalisation, chacun des codeurs sera constitué d'un précodeur et d'un codeur convolutif récursif placé en cascade. De cette façon, il sera adapté à pouvoir effectuer simultanément le précodage d'une sous-séquence et le codage convolutif récursif d'une autre sous-séquence qui aura été au préalable précodée. Ainsi, on optimise à la fois la  
25           durée globale de codage et la latence.

En variante, un codeur sera insécable : les mêmes ressources sont utilisées à la fois pour le précodeur et le codeur convolutif. De cette façon, on réduit le nombre de ressources nécessaires tout en optimisant la latence.

30           L'entrelaceur sera tel qu'au moins une des séquences  $\underline{U}_i$  (pour  $i$  compris inclusivement entre 1 et  $p_1$ ) n'est pas entrelacée en une quelconque séquence  $\underline{U}'_j$  (pour  $j$  compris inclusivement entre 1 et  $p_2$ ). L'invention se

distingue ainsi clairement de la simple concaténation de turbocodes circulaires convolutifs.

La **figure 3** illustre schématiquement la constitution d'une station de réseau ou station de décodage informatique, sous forme de schéma  
5 synoptique.

Cette station comporte un clavier 311, un écran 309, un destinataire d'information externe 310, un récepteur hertzien 306, conjointement reliés à un port d'entrées/sorties 303 d'une carte de traitement 301.

La carte de traitement 301 comporte, reliés entre eux par un bus  
10 d'adresses et de données 302 :

- une unité centrale de traitement 300 ;
- une mémoire vive RAM 304 ;
- une mémoire morte ROM 305 ; et
- le port d'entrées/sorties 303.

15 Chacun des éléments illustrés en figure 3 est bien connu de l'homme du métier des micro-ordinateurs et des systèmes de transmission et, plus généralement, des systèmes de traitement de l'information. Ces éléments communs ne sont donc pas décrits ici. On observe, cependant, que :

20 - le destinataire d'information 310 est, par exemple, un périphérique d'interface, un afficheur, un modulateur, une mémoire externe ou un autre système de traitement d'information (non représenté), et est avantageusement adapté à recevoir des séquences de signaux représentatifs de parole, de messages de service ou de données multimédia, sous forme de séquences de données binaires, et que

25 - le récepteur hertzien 306 est adapté à mettre en œuvre un protocole de transmission par paquets sur un canal non filaire, et à recevoir ces paquets sur un tel canal.

On observe, en outre, que le mot "registre" utilisé dans la description désigne, dans chacune des mémoires 304 et 305, aussi bien une zone  
30 mémoire de faible capacité (quelques données binaires) qu'une zone mémoire de grande capacité (permettant de stocker un programme entier).

La mémoire vive 304 conserve des données, des variables et des résultats intermédiaires de traitement, dans des registres de mémoire portant, dans la description, les mêmes noms que les données dont ils conservent les valeurs. La mémoire vive 304 comporte notamment :

- 5                   - un registre "*données\_reçues*", dans lequel est conservée, dans l'ordre d'arrivée des données binaires sur le bus 302 en provenance du canal de transmission, une estimation douce de ces données binaires, équivalente à une mesure de fiabilité, sous forme d'une séquence  $\underline{r}$ ,
- un registre "*inf\_extrinsèques*", dans lequel sont conservées, à un  
10 instant donné, les informations extrinsèques et a priori correspondant à la séquence  $\underline{u}$ ,
- un registre "*données\_estimées*", dans lequel est conservée, à un instant donné, une séquence estimée  $\hat{\underline{u}}$  fournie en sortie par le dispositif de décodage de l'invention, comme décrit plus loin à l'aide de la figure 4,
- 15                  - un registre "*nb\_iteration*", qui conserve un nombre entier correspondant à un compteur d'itérations effectuées par le dispositif de décodage concernant une séquence  $\underline{u}$  reçue, comme décrit plus loin à l'aide de la figure 4,
- un registre "*nb\_données\_reçues*", qui conserve un nombre entier  
20 correspondant au nombre de données binaires contenues dans le registre "*données\_reçues*", et
- la valeur de  $n$ , taille de la séquence source, dans un registre "*n*".

La mémoire morte 305 est adaptée à conserver, dans des registres qui, par commodité, possèdent les mêmes noms que les données qu'ils  
25 conservent :

- le programme de fonctionnement de l'unité centrale de traitement 300, dans un registre "*Program*",
- le tableau définissant l'entrelaceur et son entrelaceur inverse, dans un registre "*Entrelaceur*",
- 30                  - la séquence  $\underline{g}_1$ , dans un registre "*g\_1*",
- la séquence  $\underline{g}_2$ , dans un registre "*g\_2*",
- la séquence  $\underline{h}_1$ , dans un registre "*h\_1*",

- la séquence  $\underline{h}_2$ , dans un registre " $h_2$ ",
  - la valeur de  $N_1$ , dans un registre " $N_1$ ",
  - la valeur de  $N_2$ , dans un registre " $N_2$ ",
  - le nombre maximal d'itérations à effectuer lors de l'opération de
- 5 turbodécodage 603 d'une séquence  $\underline{u}$  reçue (voir figure 6 décrite plus loin), dans un registre " $nb\_iteration\_max$ ", et
- les paramètres des divisions en sous-séquences, dans un registre " $Paramètres\_division$ " identique au registre de même nom présent dans la mémoire morte 105 de la carte de traitement 101.

10 L'unité centrale de traitement 300 est adaptée à mettre en œuvre l'organigramme illustré en figure 6.

En **figure 4**, on observe qu'un dispositif de décodage 400 adapté à décoder les séquences issues d'un dispositif de codage tel que celui inclus dans le dispositif électronique de la figure 1 ou celui de la figure 2 comporte

15 notamment :

- trois entrées 401, 402 et 403 de séquences représentatives de  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}_1$  et  $\underline{v}_2$  qui, par commodité, sont aussi notées  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}_1$  et  $\underline{v}_2$ , la séquence reçue, constituée de ces trois séquences, étant notée  $\underline{r}$  ;
  - un premier diviseur en sous-séquences 417 recevant en entrée :
- 20
- les séquences  $\underline{u}$  et  $\underline{v}_1$ , et
  - une séquence d'information a priori  $\underline{w}_4$  décrite plus loin.

Le premier diviseur 417 du dispositif de décodage 400 correspond au premier diviseur en sous-séquences 205 du dispositif de codage décrit plus haut à l'aide de la figure 2.

25 Le premier diviseur en sous-séquences 417 fournit en sortie des sous-séquences issues de  $\underline{u}$  et  $\underline{w}_4$  (respectivement  $\underline{v}_1$ ) sur une sortie 421, chacune des sous-séquences ainsi fournie étant représentative d'une sous-séquence  $\underline{U}_i$  (respectivement  $\underline{V}_i$ ) telle que décrite en regard de la figure 2.

Le dispositif de décodage 400 comporte également :

- 30
- un premier décodeur 404 à entrée et sortie douces (en anglais "*soft input soft output*") correspondant au codeur 202 (figure 2), adapté à



décoder des sous-séquences codées selon le code convolutif récursif circulaire du codeur 202.

Le premier décodeur 404 reçoit en entrée les sous-séquences fournies par le premier diviseur en sous-séquences 417.

5 Pour chaque valeur de  $i$  entre 1 et  $p_1$ , à partir d'une sous-séquence de  $\underline{u}$ , d'une sous-séquence de  $\underline{w}_4$  toutes deux représentatives d'une sous-séquence  $\underline{U}_i$ , et d'une sous-séquence de  $\underline{v}_1$  représentative de  $\underline{V}_i$ , le premier décodeur 404 fournit en sortie :

10 - une sous-séquence d'information extrinsèque  $\underline{w}_{1i}$  sur une sortie 422, et

- une sous-séquence estimée  $\hat{\underline{U}}_i$  sur une sortie 410.

L'ensemble des sous-séquences d'information extrinsèque  $\underline{w}_{1i}$  pour  $i$  allant de 1 à  $p_1$  forme une séquence d'information extrinsèque  $\underline{w}_1$  portant sur la séquence  $\underline{u}$ .

15 L'ensemble des sous-séquences estimées  $\hat{\underline{U}}_i$  pour  $i$  allant de 1 à  $p_1$  est une estimation, notée  $\hat{\underline{u}}$ , de la séquence  $\underline{u}$ .

Le dispositif de décodage illustré en figure 4 comporte en outre :

20 - un entrelaceur 405 (noté "Entrelaceur  $\mathcal{I}$ " sur la figure 4), basé sur la même permutation que celle définie par l'entrelaceur 203 utilisé dans le dispositif de codage ; l'entrelaceur 405 reçoit en entrée les séquences  $\underline{u}$  et  $\underline{w}_1$  et les entrelace respectivement en des séquences  $\underline{u}^*$  et  $\underline{w}_2$  ;

- un second diviseur en sous-séquences 419 recevant en entrée :

- les séquences  $\underline{u}^*$  et  $\underline{v}_2$ , et

25 - la séquence d'information a priori  $\underline{w}_2$  issue de l'entrelaceur 405.

Le second diviseur en sous-séquences 419 du dispositif de décodage 400 correspond au second diviseur en sous-séquences 206 du dispositif de codage tel que décrit en regard de la figure 2.

30 Le second diviseur en sous-séquences 419 fournit en sortie des sous-séquences issues de  $\underline{u}^*$  et  $\underline{w}_2$  (respectivement  $\underline{v}_2$ ) sur une sortie 423, chacune des sous-séquences ainsi fournie étant représentative d'une sous-séquence  $\underline{U}'_i$  (respectivement  $\underline{V}'_i$ ) telle que décrite en regard de la figure 2.

Le dispositif de décodage 400 comporte aussi :

- un second décodeur 406 à entrée et sortie douces, correspondant au codeur 204 (figure 2), adapté à décoder des sous-séquences codées selon le code convolutif récursif circulaire du codeur 204.

5            Le second décodeur 406 reçoit en entrée les sous-séquences fournies par le second diviseur en sous-séquences 419.

Pour chaque valeur de  $i$  entre 1 et  $p_2$ , à partir d'une sous-séquence de  $\underline{u}^*$ , d'une sous-séquence de  $\underline{w}_2$  toutes deux représentatives d'une sous-séquence  $\underline{U}'_i$ , et d'une sous-séquence de  $\underline{v}_2$  représentative de  $\underline{V}'_i$ , le second

10        décodeur 406 fournit en sortie :

- une sous-séquence d'information extrinsèque  $\underline{w}_{3i}$  sur une sortie 420, et

- une sous-séquence estimée  $\hat{\underline{U}}'_i$ .

L'ensemble des sous-séquences d'information extrinsèque  $\underline{w}_{3i}$  pour  $i$  allant de 1 à  $p_2$  forme une séquence d'information extrinsèque  $\underline{w}_3$  portant sur la

15        séquence entrelacée  $\underline{u}^*$ .

L'ensemble des sous-séquences estimées  $\hat{\underline{U}}'_i$  pour  $i$  allant de 1 à  $p_2$  est une estimation, notée  $\hat{\underline{u}}^*$ , de la séquence entrelacée  $\underline{u}^*$ .

Le dispositif de décodage illustré en figure 4 comporte de plus :

20            - un désentrelaceur 408 (noté "Entrelaceur  $\Pi^{-1}$ " sur la figure 4), inverse de l'entrelaceur 405, recevant en entrée la séquence  $\hat{\underline{u}}^*$  et fournissant en sortie une séquence estimée  $\hat{\underline{u}}$ , sur une sortie 409 (cette estimation étant améliorée par rapport à celle fournie, une demi-itération auparavant, sur la sortie 410), cette séquence estimée  $\hat{\underline{u}}$  étant obtenue par désentrelacement de

25        la séquence  $\hat{\underline{u}}^*$  ;

- un désentrelaceur 407 (noté aussi "Entrelaceur  $\Pi^{-1}$ " sur la figure 4), inverse de l'entrelaceur 405, recevant en entrée la séquence d'information extrinsèque  $\underline{w}_3$  et fournissant en sortie la séquence d'information a priori  $\underline{w}_4$  ;

30            - la sortie 409, sur laquelle le dispositif de décodage fournit la séquence estimée  $\hat{\underline{u}}$ , en sortie du désentrelaceur 408.

On ne prend en compte une séquence estimée  $\hat{u}$  qu'à la suite d'un nombre d'itérations prédéterminé (voir l'article "*Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbocodes*" cité supra).

Sur la **figure 5**, qui représente le fonctionnement d'un dispositif de codage tel que celui inclus dans le dispositif électronique illustré en figure 1, on observe qu'après une opération d'initialisation 500, au cours de laquelle les registres de la mémoire vive 104 sont initialisés (*nb\_données* = "0"), au cours d'une opération 501, l'unité centrale 100 attend de recevoir, puis reçoit une séquence  $u$  de données binaires à transmettre, la positionne en mémoire vive 104 dans le registre "*données\_source*" et met à jour le compteur "*nb\_données*".

Ensuite, au cours d'une opération 502, l'unité centrale 100 détermine la valeur de  $n$  comme étant la valeur du nombre entier conservé dans le registre "*nb\_données*" (valeur conservée en mémoire vive 104).

Ensuite, au cours d'une opération 508, le premier codeur 202 (voir figure 2) effectue, pour chaque valeur de  $i$  allant de 1 à  $p_1$  :

- la détermination d'une sous-séquence  $U_i$ ,
- la division par  $g_1(x)$  du polynôme  $U_i(x)$ , et
- le produit du résultat de cette division par  $h_1(x)$ , pour former une séquence  $V_i$ .

Les séquences  $u$  et le résultat de ces opérations de division et de multiplication,  $V_i$  ( $= U_i \cdot h_1 / g_1$ ), sont mis en mémoire dans le registre "*données\_à\_émettre*".

Puis, au cours d'une opération 506, les données binaires de la séquence  $u$  sont successivement lues dans le registre "*données\_à\_émettre*", dans l'ordre décrit par le tableau "*entrelaceur*" (entrelaceur de taille  $n$ ) conservé en mémoire morte 105. Les données qui résultent successivement de cette lecture forment une séquence  $u^*$  et sont mises en mémoire dans le registre "*données\_permutées*" de la mémoire vive 104.

Ensuite, au cours d'une opération 507, le second codeur 202 (voir figure 2) effectue, pour chaque valeur de  $i$  allant de 1 à  $p_2$  :

- la détermination d'une sous-séquence  $U'_i$ ,
- la division par  $g_2(x)$  du polynôme  $U'_i(x)$ , et

- le produit du résultat de cette division par  $h_2(x)$ , pour former une séquence  $\underline{V}_i$ .

Le résultat de ces opérations de division et de multiplication,  $\underline{V}_i$  ( $= \underline{U}_i \cdot h_2/g_2$ ), est mis en mémoire dans le registre "*données\_à\_émettre*".

5        Au cours d'une opération 509, les séquences  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}_1$  (obtenu par concaténation des séquences  $\underline{V}_i$ ) et  $\underline{v}_2$  (obtenu par concaténation des séquences  $\underline{V}_i$ ) sont émises en utilisant, à cet effet, l'émetteur 106. Ensuite, les registres de la mémoire 104 sont à nouveau initialisés ; en particulier, le compteur "*nb\_données*" est remis à "0". Puis l'opération 501 est répétée.

10        En variante, au cours de l'opération 509, on n'émet pas l'intégralité des séquences  $\underline{u}$ ,  $\underline{v}_1$  et  $\underline{v}_2$ , mais seulement un sous-ensemble de celles-ci. Cette variante est connue de l'homme du métier sous le nom de poinçonnage.

En **figure 6**, qui représente le fonctionnement d'un dispositif de décodage tel que celui inclus dans le dispositif électronique illustré en figure 3, on observe qu'au cours d'une opération 600, l'unité centrale 300 attend de recevoir, puis reçoit une séquence de données codées. Chaque donnée est reçue sous forme douce et correspond à une mesure de fiabilité d'une donnée émise par l'émetteur 106 et reçue par le récepteur 306. L'unité centrale positionne la séquence reçue en mémoire vive 304, dans le registre  
15 "*données\_reçues*" et met à jour le compteur "*nb\_données\_reçues*".

20        Ensuite, au cours d'une opération 601, l'unité centrale 300 détermine la valeur de  $n$  en effectuant une division de "*nb\_données\_reçues*" par 3 :  $n = nb\_données\_reçues/3$ . Cette valeur de  $n$  est alors mémorisée en mémoire vive 304.

25        Ensuite, au cours d'une opération de turbodécodage 603, le dispositif de décodage donne une estimation  $\hat{\underline{u}}$  de la séquence  $\underline{u}$  transmise.

Puis, au cours d'une opération 604, l'unité centrale 300 fournit cette estimation  $\hat{\underline{u}}$  au destinataire d'information 310.

Ensuite, les registres de la mémoire 304 sont à nouveau initialisés.  
30        En particulier, le compteur "*nb\_données*" est remis à "0" et l'opération 601 est répétée.

En **figure 7**, qui détaille l'opération de turbodécodage 603, on observe qu'au cours d'une opération d'initialisation 700, les registres de la mémoire vive 304 sont initialisés : les informations a priori  $\underline{w}_2$  et  $\underline{w}_4$  sont remises à zéro (on suppose ici que l'entropie de la source est nulle). En outre, l'entrelaceur 405 entrelace la séquence d'entrée  $\underline{u}$  et fournit une séquence  $\underline{u}^*$  qui est mémorisée dans le registre "*données\_reçues*".

Ensuite, au cours d'une opération 702, le registre "*nb\_iteration*" est incrémenté d'une unité.

Puis, au cours d'une opération 711, le premier diviseur en sous-séquences 417 effectue une première opération de division en sous-séquences des séquences  $\underline{u}$  et  $\underline{v}_1$  ainsi que de la séquence d'information a priori  $\underline{w}_4$ .

Puis, au cours d'une opération 703, le premier décodeur 404 (correspondant au premier codeur élémentaire 202) met en œuvre un algorithme de type à entrées douces et décisions douces (SISO, en anglais "*Soft Input Soft Output*"), bien connu de l'homme du métier, tel que le BCJR, ou le SOVA ("*Soft Output Viterbi Algorithm*"), selon une technique adaptée à décoder les codes convolutifs circulaires, comme suit : pour chaque valeur de  $i$  allant de 1 à  $p_1$ , le premier décodeur 404 considère comme entrées douces une estimation des sous-séquences  $\underline{U}_i$  et  $\underline{V}_i$  reçues et  $\underline{w}_{4i}$  (information a priori sur  $\underline{U}_i$ ) et fournit, d'une part,  $\underline{w}_{1i}$  (informations extrinsèques sur  $\underline{U}_i$ ) et, d'autre part, une estimation  $\hat{\underline{U}}_i$  de la séquence  $\underline{U}_i$ .

Pour de plus amples détails sur les algorithmes de décodage utilisés dans les turbocodes, on pourra se référer :

- à l'article intitulé "*Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate*" cité supra, qui décrit l'algorithme BCJR, généralement utilisé en relation avec les turbocodes ; ou

- à l'article de J. HAGENAUER et P. HOEHER intitulé "*A Viterbi algorithm with soft decision outputs and its applications*", publié avec les comptes-rendus de la conférence IEEE GLOBECOM, pages 1680-1686, en novembre 1989.

Plus particulièrement, pour plus de détails sur le décodage d'un code convolutif circulaire utilisé habituellement dans les turbodécodeurs, on se

reportera utilement à l'article de J. B. ANDERSON et S. HLADIK intitulé "*Tailbiting MAP decoders*" publié dans la revue IEEE Journal On Selected Areas in Telecommunications en février 1998.

5 Au cours d'une opération 705, l'entrelaceur 405 entrelace la séquence  $\underline{w}_1$  obtenue par concaténation des séquences  $\underline{w}_{1i}$  (pour  $i$  allant de 1 à  $p_1$ ) pour produire  $\underline{w}_2$ , information a priori sur  $\underline{u}^*$ .

Puis, au cours d'une opération 712, le second diviseur en sous-séquences 419 effectue une seconde opération de division en sous-séquences des séquences  $\underline{u}^*$  et  $\underline{v}_2$  ainsi que de la séquence d'information a priori  $\underline{w}_2$ .

10 Ensuite, au cours d'une opération 706, le deuxième décodeur 406 (correspondant au deuxième codeur élémentaire 204) met en œuvre un algorithme de type à entrées douces et décisions douces, selon une technique adaptée à décoder les codes convolutifs circulaires, comme suit : pour chaque valeur de  $i$  allant de 1 à  $p_2$ , le second décodeur 406 considère comme entrées  
15 douces une estimation des sous-séquences  $\underline{U}'_i$  et  $\underline{V}'_i$  reçues et  $\underline{w}_{2i}$  (information a priori sur  $\underline{U}'_i$ ) et fournit, d'une part,  $\underline{w}_{3i}$  (informations extrinsèques sur  $\underline{U}'_i$ ) et, d'autre part, une estimation  $\hat{\underline{U}}'_i$  de la séquence  $\underline{U}'_i$ .

Au cours d'une opération 708, le désentrelaceur 407 (entrelaceur inverse de 405) désentrelace la séquence d'information  $\underline{w}_3$  obtenue par  
20 concaténation des séquences  $\underline{w}_{3i}$  (pour  $i$  allant de 1 à  $p_2$ ) pour produire  $\underline{w}_4$ , information a priori sur  $\underline{u}$ .

Les informations extrinsèques et a priori produites au cours des étapes 711, 703, 705, 712, 706 et 708 sont stockées dans le registre "*inf\_extrinsèques*" de la RAM 304.

25 Ensuite, au cours d'un test 709, l'unité centrale 300 détermine si le nombre entier conservé dans le registre "*nb\_iteration*" est égal ou non à un nombre prédéterminé maximal d'itérations à effectuer, conservé dans le registre "*nb\_iteration\_max*" de la ROM 305.

Lorsque le résultat du test 709 est négatif, l'opération 702 est  
30 réitérée.

Lorsque le résultat du test 709 est positif, au cours d'une opération 710, le désentrelaceur 408 (identique au désentrelaceur 407) désentrelace la

séquence  $\hat{u}^*$ , obtenue par concaténation des séquences  $\hat{U}'_i$  (pour  $i$  allant de 1 à  $p_2$ ), pour fournir une séquence désentrelacée à l'unité centrale 300, qui transforme alors la décision douce en décision dure, de façon à obtenir une séquence  $\hat{u}$ , estimée de  $u$ .

5 Dans une variante, plus générale, l'invention ne se limite pas aux turbocodeurs (ou procédés ou dispositifs de codage ou décodage associés) composés de deux codeurs ou aux turbocodeurs à une entrée : elle peut s'appliquer à des turbocodeurs composés de plusieurs codeurs élémentaires ou à des turbocodeurs à plusieurs entrées, tels que ceux décrits dans le rapport de  
10 D. DIVSALAR et F. POLLARA cité en introduction.

Dans une autre variante, l'invention ne se limite pas aux turbocodeurs parallèles (ou procédés ou dispositifs de codage ou décodage associés) mais peut s'appliquer à des turbocodes séries ou hybrides tels que décrits dans le rapport "*TDA progress report 42-126 Serial concatenation of interleaved codes: "Performance analysis, design and iterative decoding"*" de S.  
15 BENEDETTO, G. MONTORSI, D. DIVSALAR et F. POLLARA, publié en août 1996 par JPL (Jet Propulsion Laboratory). Dans ce cas, on entrelace en outre la séquence de parité  $\underline{v}_1$  issue du premier codage convolutif et, au cours d'une troisième étape, on divise en outre cette séquence entrelacée en  $p_3$  troisièmes  
20 sous-séquences  $\underline{U}''_i$  et on code chacune d'elles selon un procédé de codage circulaire, conjointement ou non avec une séquence  $\underline{U}'_i$ . Ainsi, un diviseur en sous-séquences sera placé devant un codeur élémentaire récursif circulaire. On veillera simplement à ce que la taille de chaque sous-séquence ne soit pas un  
25 coder cette sous-séquence.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de codage d'une séquence source de symboles ( $\underline{u}$ ) en une séquence codée, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes suivant  
5 lesquelles :

- on effectue une première opération de division en sous-séquences et codage (508), consistant à diviser ladite séquence source ( $\underline{u}$ ) en  $p_1$  premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ),  $p_1$  étant un entier positif, et à coder chacune desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) à l'aide d'un premier procédé de  
10 codage convolutif circulaire ;

- on effectue une opération d'entrelacement (506), consistant à entrelacer ladite séquence source ( $\underline{u}$ ) en une séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ; et

- on effectue une seconde opération de division en sous-séquences et codage (507), consistant à diviser ladite séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) en  $p_2$  secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ),  $p_2$  étant un entier positif, et à coder chacune  
15 desdites secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ) à l'aide d'un second procédé de codage convolutif circulaire ;

l'un au moins des entiers  $p_1$  et  $p_2$  étant strictement supérieur à 1 et l'une au moins desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) n'étant entrelacée en aucune  
20 desdites secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ).

2. Procédé de codage selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit premier ou second procédé de codage convolutif circulaire comporte :

- une étape de précodage, consistant à définir l'état initial du procédé de codage pour la sous-séquence considérée, de façon à produire une  
25 sous-séquence précodée, et

- une étape de codage convolutif circulaire.

3. Procédé de codage selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue simultanément ladite étape de précodage pour une desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) et ladite étape de codage convolutif circulaire  
30 pour une autre desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_j$ ) déjà précodée.

4. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les entiers  $p_1$  et  $p_2$  sont égaux.



5. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la taille de toutes les sous-séquences est identique.

6. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits premier et second procédés de codage convolutif circulaire sont identiques.

7. Procédé de codage selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des étapes suivant lesquelles :

10 - on effectue une opération d'entrelacement supplémentaire, consistant à entrelacer la séquence de parité ( $\underline{v}_1$ ) issue de la première opération de division en sous-séquences et codage (508) ; et

15 - on effectue une troisième opération de division en sous-séquences et codage, consistant à diviser la séquence entrelacée, obtenue à l'issue de ladite opération d'entrelacement supplémentaire, en  $p_3$  troisièmes sous-séquences ( $\underline{U}''_i$ ),  $p_3$  étant un entier positif, et à coder chacune desdites troisièmes sous-séquences ( $\underline{U}''_i$ ) à l'aide d'un troisième procédé de codage convolutif circulaire.

8. Dispositif de codage d'une séquence source de symboles ( $\underline{u}$ ) en une séquence codée, caractérisé en ce qu'il comporte :

20 - des premiers moyens de division en sous-séquences et codage (205, 202), pour diviser ladite séquence source ( $\underline{u}$ ) en  $p_1$  premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ),  $p_1$  étant un entier positif, et pour coder chacune desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) à l'aide de premiers moyens de codage convolutif circulaire ;

25 - des moyens d'entrelacement (203), pour entrelacer ladite séquence source ( $\underline{u}$ ) en une séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ; et

30 - des seconds moyens de division en sous-séquences et codage (206, 204), pour diviser ladite séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) en  $p_2$  secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ),  $p_2$  étant un entier positif, et pour coder chacune desdites secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ) à l'aide de seconds moyens de codage convolutif circulaire ;

l'un au moins des entiers  $p_1$  et  $p_2$  étant strictement supérieur à 1 et l'une au moins desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) n'étant entrelacée en aucune desdites secondes sous-séquences ( $\underline{U}'_i$ ).

5 9. Dispositif de codage selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits premiers ou seconds moyens de codage convolutif circulaire comportent :

- des moyens de précodage, pour définir l'état initial des moyens de codage pour la sous-séquence considérée, de façon à produire une sous-séquence précodée, et

10 - des moyens de codage convolutif circulaire proprement dits.

10. Dispositif de codage selon la revendication 9, caractérisé en ce que lesdits moyens de précodage traitent une desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_i$ ) en même temps que lesdits moyens de codage convolutif circulaire proprement dits traitent une autre desdites premières sous-séquences ( $\underline{U}_j$ ) déjà précodée.

11. Dispositif de codage selon la revendication 8, 9 ou 10, caractérisé en ce que les entiers  $p_1$  et  $p_2$  sont égaux.

12. Dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que la taille de toutes les sous-séquences est identique.

20 13. Dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, caractérisé en ce que lesdits premiers et seconds moyens de codage convolutif circulaire sont identiques.

14. Dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

25 - des moyens d'entrelacement supplémentaires, pour entrelacer la séquence de parité ( $\underline{v}_1$ ) fournie par les premiers moyens de division en sous-séquences et codage (205, 202) ; et

30 - des troisièmes moyens de division en sous-séquences et codage, pour diviser la séquence entrelacée, fournie par lesdits moyens d'entrelacement supplémentaires, en  $p_3$  troisièmes sous-séquences ( $\underline{U}''_i$ ),  $p_3$  étant un entier positif, et pour coder chacune desdites troisièmes sous-séquences ( $\underline{U}''_i$ ) à l'aide de troisièmes moyens de codage convolutif circulaire.

15. Procédé de décodage d'une séquence de symboles reçus, caractérisé en ce qu'il est adapté à décoder une séquence codée par un procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

5 16. Procédé de décodage selon la revendication 15, utilisant un turbodécodage, caractérisé en ce qu'on effectue itérativement :

- une première opération de division en sous-séquences (711), s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence source ( $\underline{u}$ ) et d'une première séquence de parité ( $\underline{v}_1$ ), ainsi que sur l'information a priori ( $\underline{w}_4$ ) de la séquence source ( $\underline{u}$ ) ;

10 - pour chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, une première opération de décodage élémentaire (703), adaptée à décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence source ( $\underline{u}$ ) ;

15 - une opération d'entrelacement (705) de la séquence ( $\underline{w}_1$ ) formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par ladite première opération de décodage élémentaire (703) ;

20 - une deuxième opération de division en sous-séquences (712), s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) et d'une deuxième séquence de parité ( $\underline{v}_2$ ), ainsi que sur l'information a priori ( $\underline{w}_2$ ) de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ;

25 - pour chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, une deuxième opération de décodage élémentaire (706), adaptée à décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ;

- une opération de désentrelacement (708) de la séquence ( $\underline{w}_3$ ) formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par ladite deuxième opération de décodage élémentaire (706).

30 17. Dispositif de décodage d'une séquence de symboles reçus, caractérisé en ce qu'il est adapté à décoder une séquence codée au moyen d'un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14.

18. Dispositif de décodage selon la revendication 17, utilisant un turbodécodage, caractérisé en ce qu'il comporte :

5       - des premiers moyens de division en sous-séquences (417), s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence source ( $\underline{u}$ ) et d'une première séquence de parité ( $\underline{v}_1$ ), ainsi que sur l'information a priori ( $\underline{w}_4$ ) de la séquence source ( $\underline{u}$ ) ;

10       - des premiers moyens de décodage élémentaire (404), opérant sur chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, pour décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence source ( $\underline{u}$ ) ;

      - des moyens d'entrelacement (405) de la séquence ( $\underline{w}_1$ ) formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par lesdits premiers moyens de décodage élémentaire (404) ;

15       - des deuxièmes moyens de division en sous-séquences (419), s'appliquant sur les symboles reçus représentatifs de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) et d'une deuxième séquence de parité ( $\underline{v}_2$ ), ainsi que sur l'information a priori ( $\underline{w}_2$ ) de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ;

20       - des deuxièmes moyens de décodage élémentaire (406), opérant sur chaque triplet de sous-séquences représentatif d'une sous-séquence codée par un code convolutif circulaire, pour décoder une séquence codée par un code convolutif circulaire et fournissant une sous-séquence d'information extrinsèque sur une sous-séquence de la séquence entrelacée ( $\underline{u}^*$ ) ;

25       - des moyens de désentrelacement (407) de la séquence ( $\underline{w}_3$ ) formée des sous-séquences d'information extrinsèque fournies par lesdits deuxièmes moyens de décodage élémentaire (406), lesdits moyens de division en sous-séquences (417, 419), de décodage élémentaire (404, 406), d'entrelacement (405) et de désentrelacement (407) opérant itérativement.

30       19. Appareil de traitement de signaux numériques, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage

selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 et/ou un procédé de décodage selon la revendication 15 ou 16.

20. Appareil de traitement de signaux numériques, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14 et/ou un dispositif de décodage selon la revendication 17 ou 18.

21. Réseau de télécommunications, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 et/ou un procédé de décodage selon la revendication 15 ou 16.

22. Réseau de télécommunications, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14 et/ou un dispositif de décodage selon la revendication 17 ou 18.

23. Station mobile dans un réseau de télécommunications, caractérisée en ce qu'elle comporte des moyens adaptés à mettre en œuvre un procédé de codage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 et/ou un procédé de décodage selon la revendication 15 ou 16.

24. Station mobile dans un réseau de télécommunications, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14 et/ou un dispositif de décodage selon la revendication 17 ou 18.

25. Dispositif de traitement de signaux représentatifs de parole, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14 et/ou un dispositif de décodage selon la revendication 17 ou 18.

26. Dispositif de transmission de données comportant un émetteur adapté à mettre en œuvre un protocole de transmission par paquets, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif de codage selon l'une quelconque des revendications 8 à 14 et/ou un dispositif de décodage selon la revendication 17 ou 18 et/ou un dispositif de traitement de signaux représentatifs de parole selon la revendication 25.

27. Dispositif de transmission de données selon la revendication 26, caractérisé en ce que ledit protocole est de type ATM.

28. Dispositif de transmission de données selon la revendication 26, caractérisé en ce que ledit protocole est de type IP.

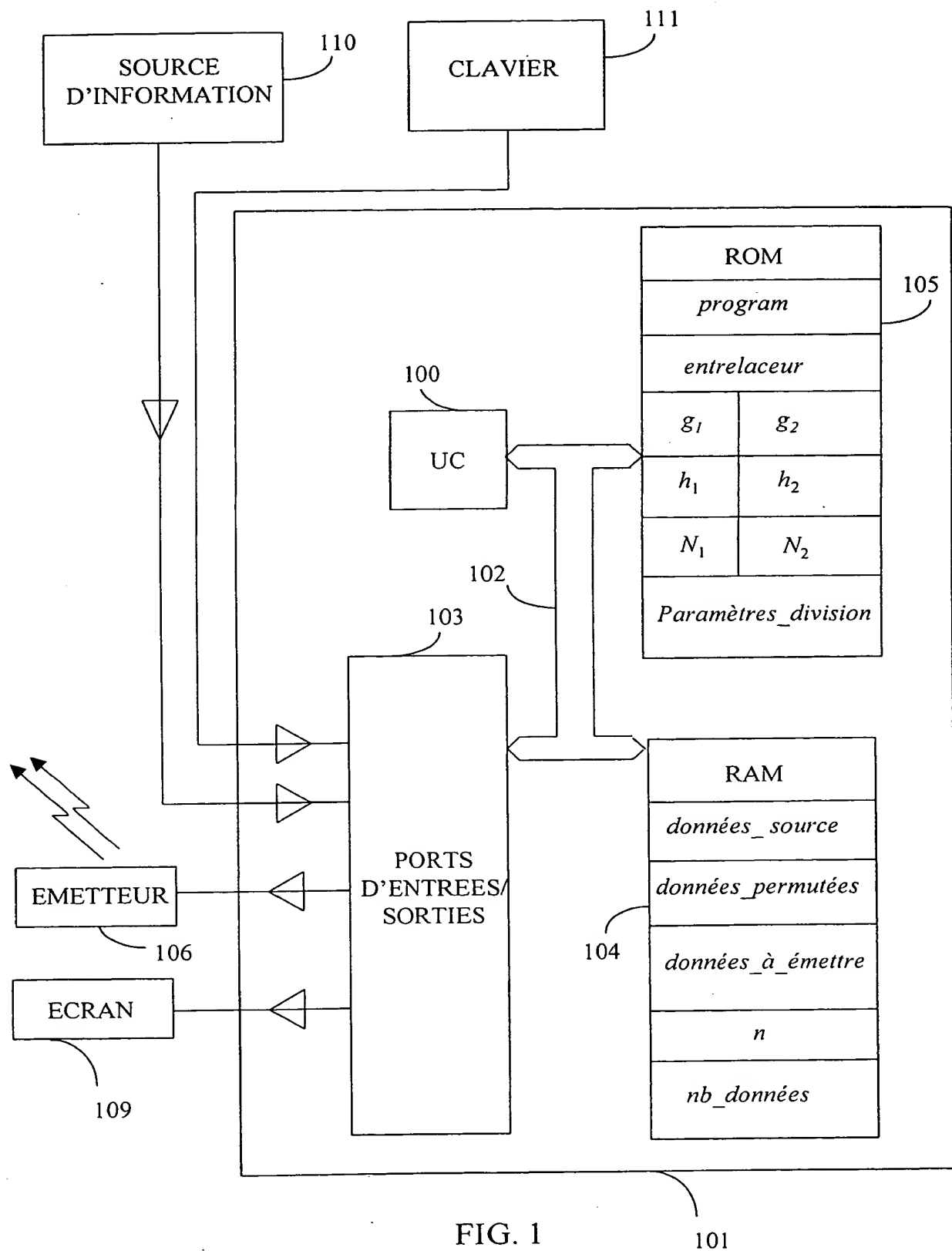


FIG. 1

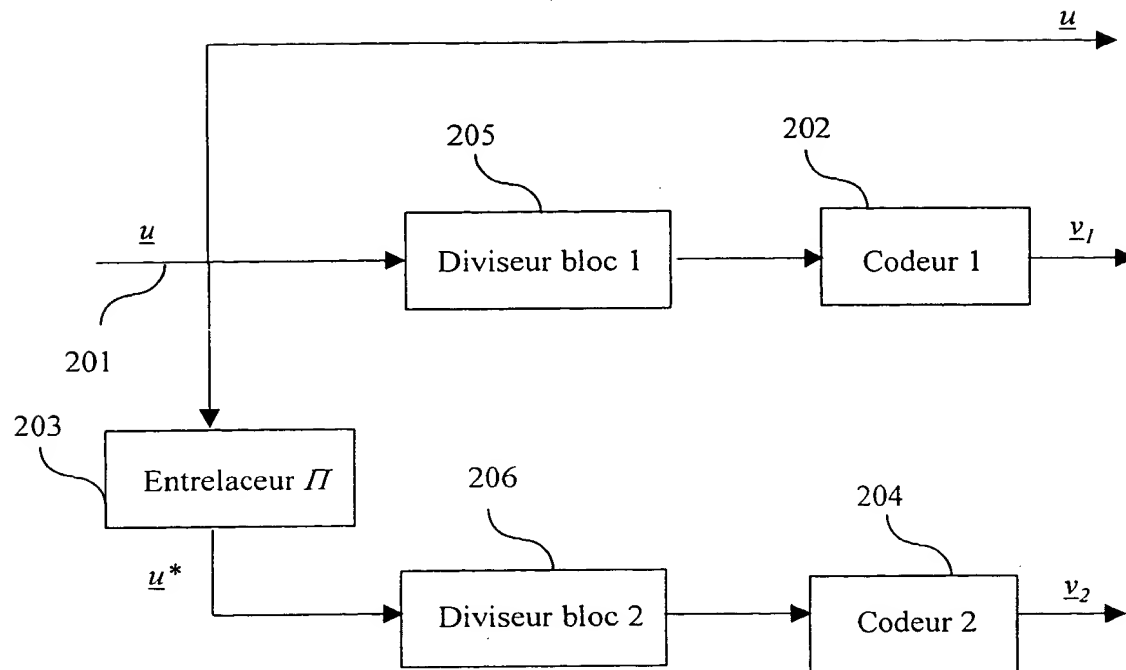


FIG. 2



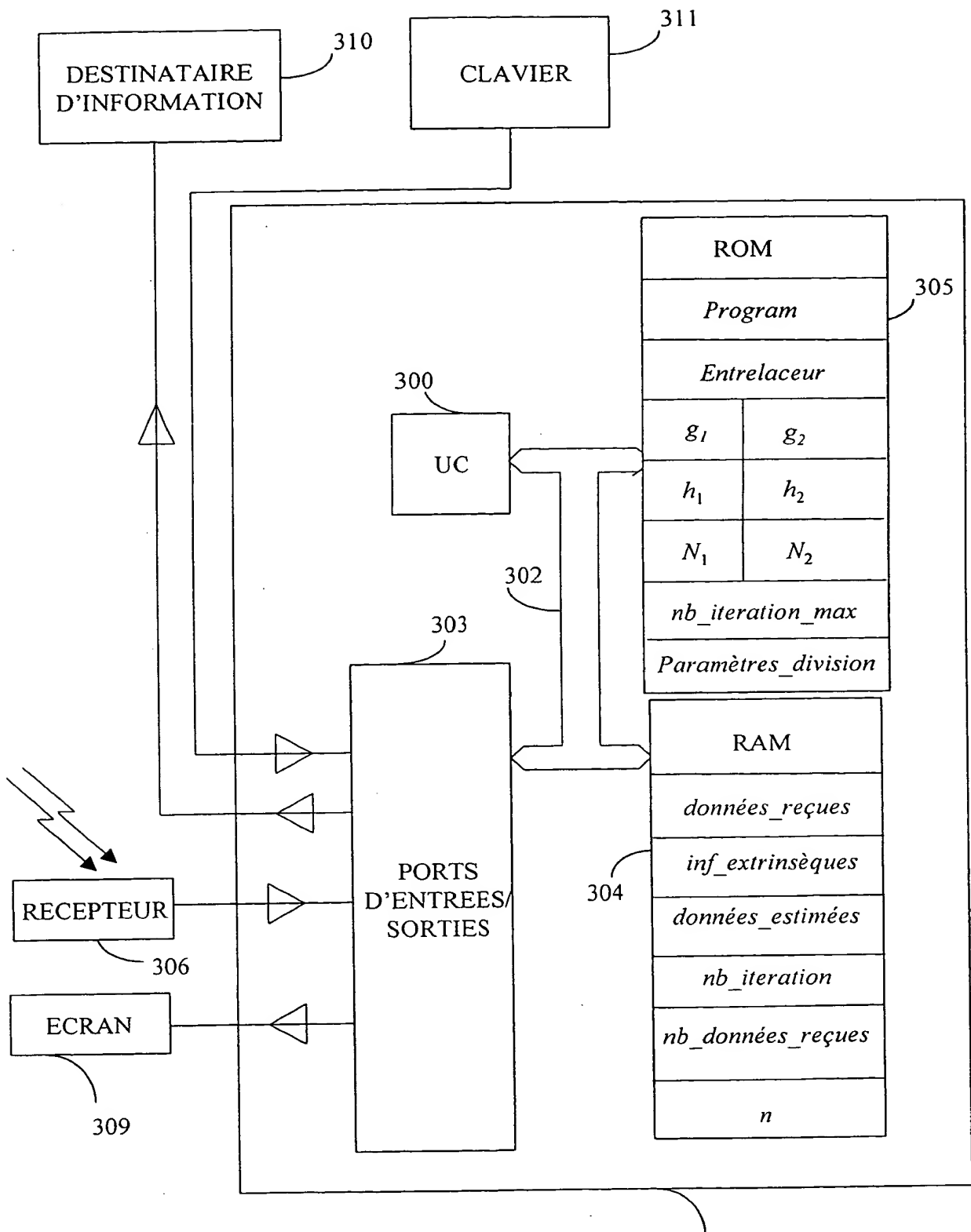


FIG. 3

301

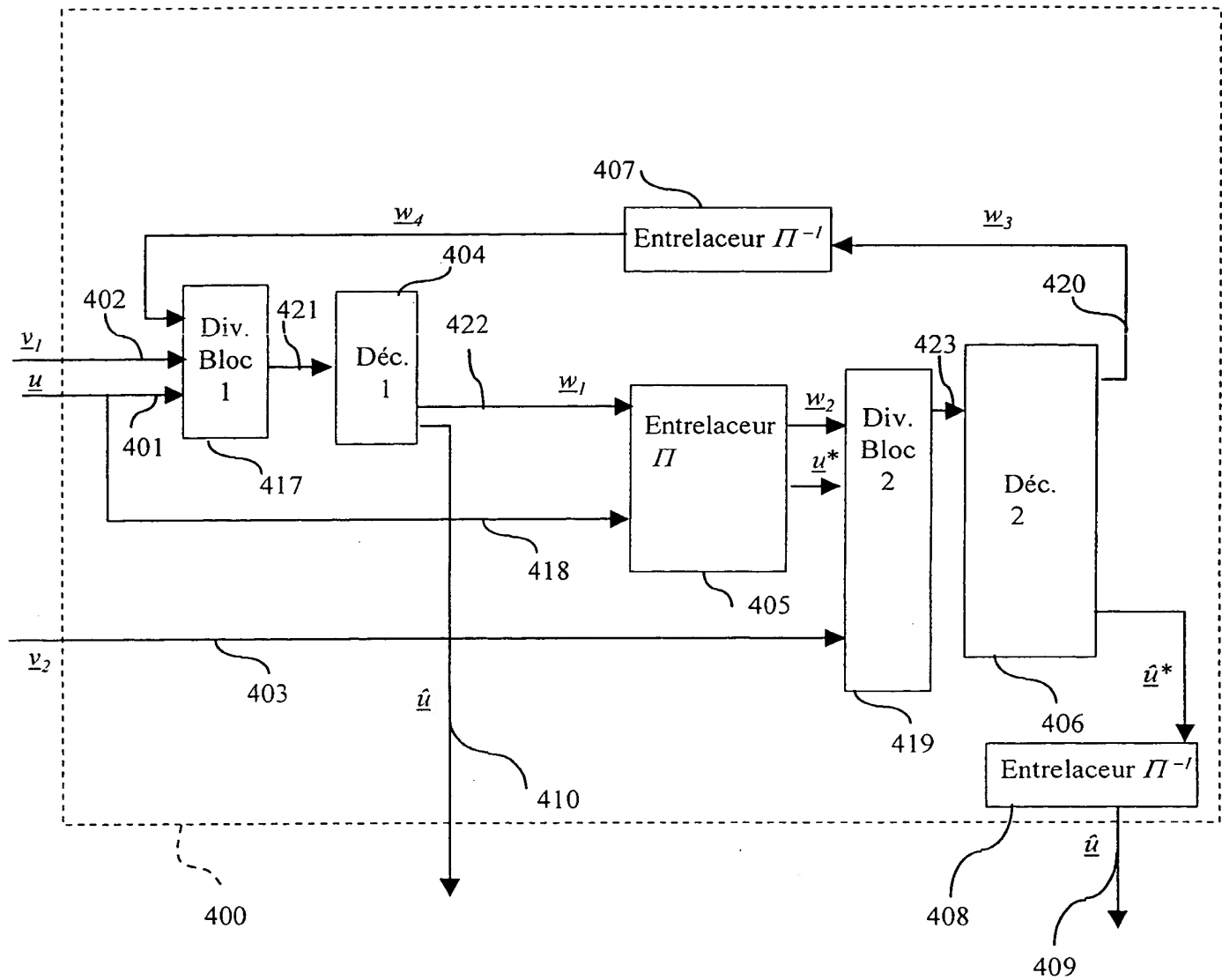


FIG. 4

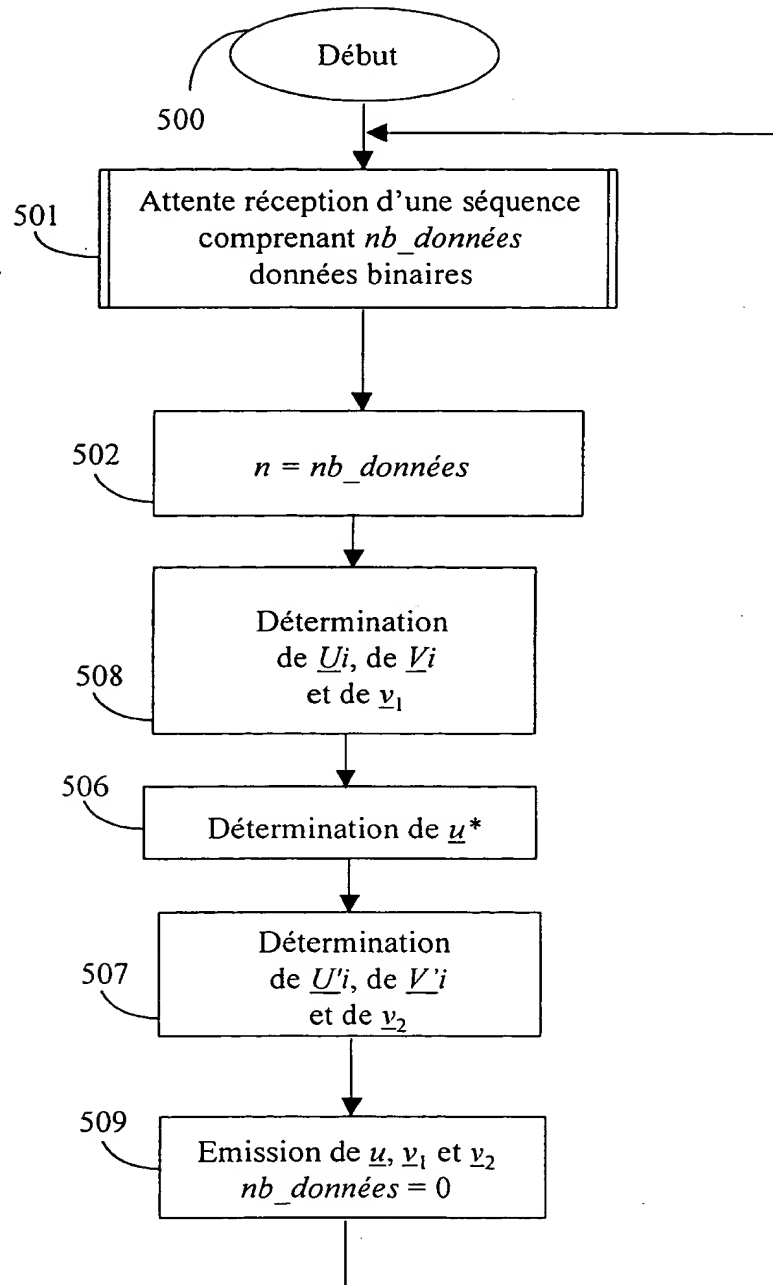


FIG. 5

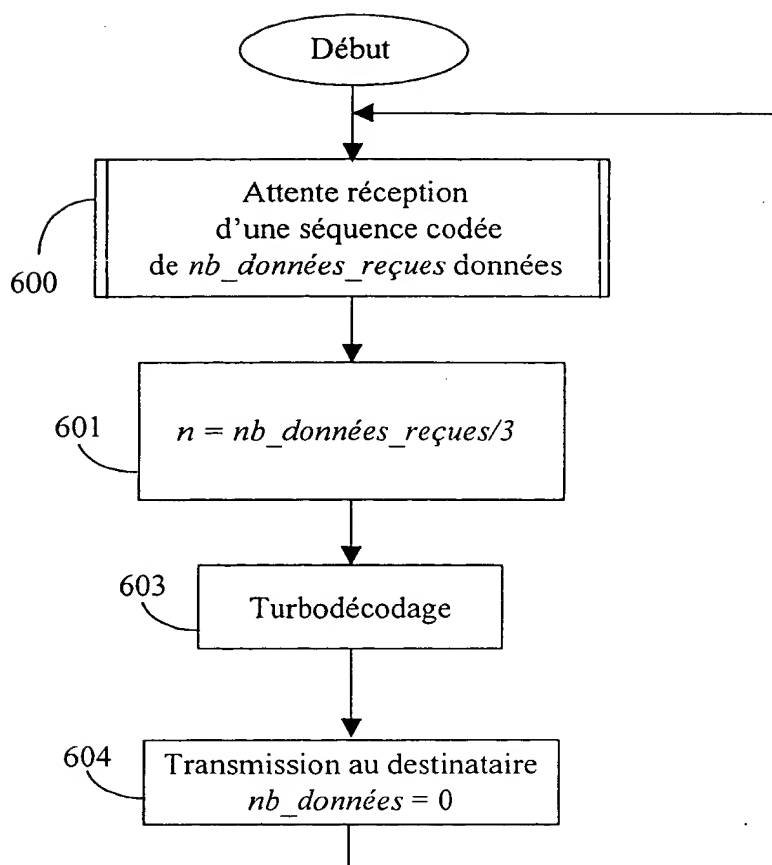


FIG. 6

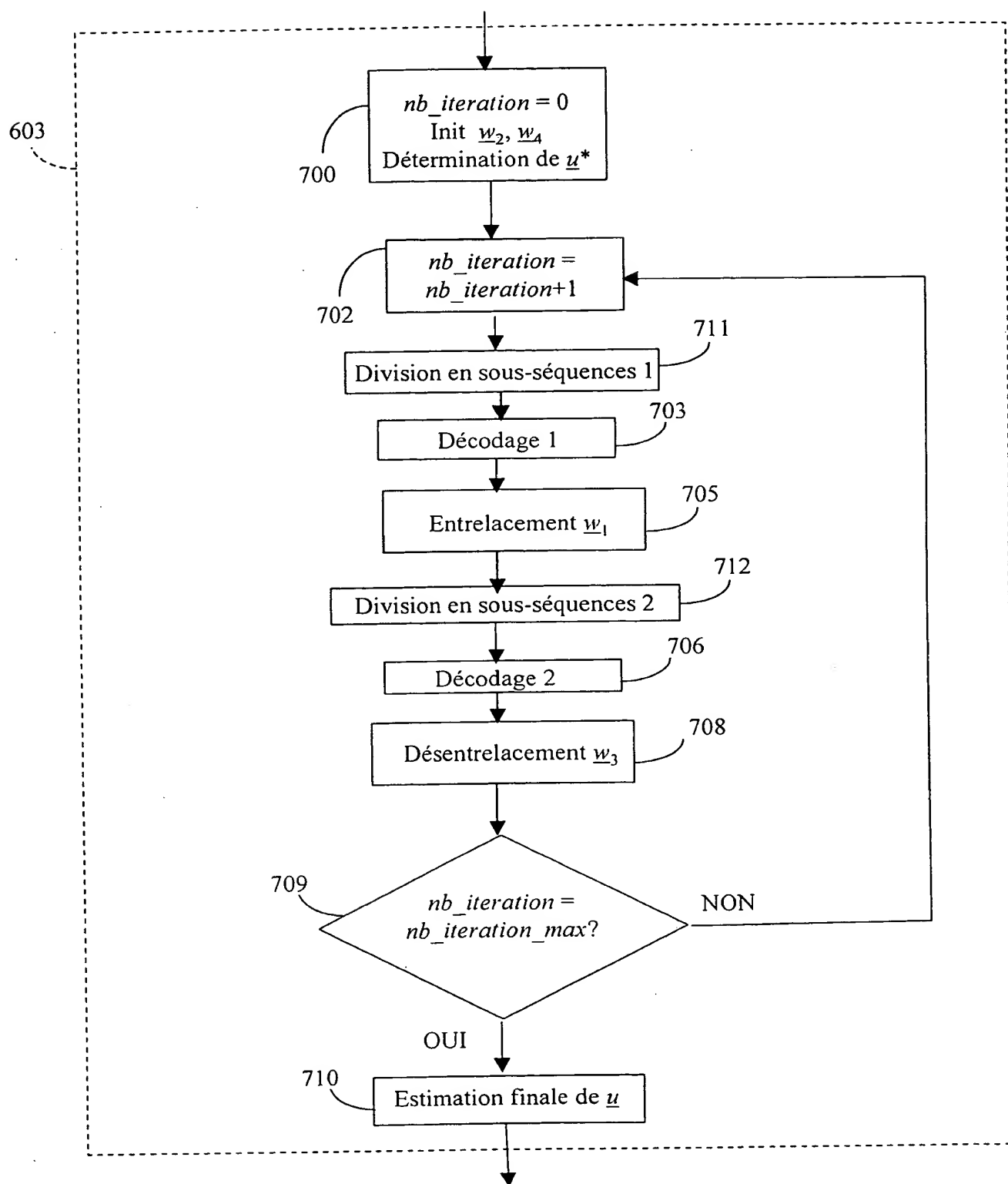


FIG. 7

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**